

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСА «ГЕОСКАН 401 ЛИДАР» В КАЧЕСТВЕ БЕСПИЛОТНОЙ ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ВОЗДУШНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ И АЭРОФОТОСЪЕМКИ

М.В. Курков («Скан»)

В 2004 г. окончил аэрофотогеодезический факультет МИИГАиК по специальности «аэрофотогеодезия». После окончания университета работал в ЗАО НПП «Центр прикладной геодинамики», с 2007 г. — в ООО НП АГП «Меридиан+», с 2013 г. — в ФГУП «ЦНИИ ЭИСУ». С 2016 г. работает в ООО «Скан», в настоящее время — начальник научно-исследовательского отдела.

Д.А. Клестов («Скан»)

В 2011 г. окончил картографический факультет МИИГАиК по специальности «картограф». С 2009 г. работал ФГУП «МАГП» и МИИГАиК. После окончания университета работал в ОАО ТЦ «Геоинформатика» и ООО «Аэро Карта Комплекс». С 2015 г. работает в ООО «Скан», в настоящее время — заместитель директора по технологиям и производству.

В.А. Брусило («АГМ СИСТЕМЫ», Краснодар)

В 2005 г. окончил географический факультет Кубанского государственного университета (КубГУ) по специальности «прикладная информатика в географии», в 2008 г. — аспирантуру КубГУ. С 2003 г. работал в ФГУП «Северо-Кавказское АГП», с 2006 г. — в ООО «ИнжГеоГИС», с 2010 г. — в группе компаний «Аэрогеоматика». С 2019 г. работает в ООО «АГМ Системы», в настоящее время — заместитель генерального директора.

В.М. Курков (МИИГАиК)

В 1978 г. окончил аэрофотогеодезический факультет МИИГАиК по специальности «аэрофотогеодезия». После окончания института поступил в аспирантуру. С 1982 г. работал на кафедре геодезии МИИГАиК. С 1995 г. работает на кафедре фотограмметрии МИИГАиК, в настоящее время — доцент. Кандидат технических наук.

А.С. Киселева (МИИГАиК)

В 2008 г. окончила факультет аэрокосмических съемок и фотограмметрии МИИГАиК по специальности «аэрофотогеодезия». В 2006–2011 гг. работала в компании «Ракурс», в 2008–2011 гг. — в МИИГАиК, в 2011–2012 гг. — в компании VisionMap (Израиль). С 2019 г. работает на кафедре фотограмметрии МИИГАиК, в настоящее время — старший преподаватель.

Воздушное лазерное сканирование в данный момент переживает второе рождение, связанное с активным применением беспилотных воздушных судов (БВС). Технология одновременного выполнения воздушного лазерного сканирования (ВЛС) и аэрофотосъемки

(АФС), а также их совместная обработка позволяют в несколько раз сократить срок создания картографической продукции, повышая ее точность и детальность. При этом обеспечивается максимально точная передача рельефа земной поверхности даже на участках,

покрытых густой растительностью. В качестве носителя системы воздушного лазерного сканирования и аэрофотосъемки все чаще используются БВС.

▼ «Геоскан 401 Лидар»

Рассмотрим подробнее состав и характеристики аппарат-

ной и программной части беспилотного комплекса «Геоскан 401 Лидар», предлагаемого ГК «Геоскан».

Аппаратная часть комплекса включает квадрокоптер «Геоскан 401» [1] (табл. 1) с полезной нагрузкой в виде цифровой камеры Sony Alpha 6000 ($F = 20,0$ мм, матрица 24,3 Мп) и воздушного лазерного сканера (лидара) АГМ-МС1 [2] с инерциальной системой АГМ-ПС.М 33 и ГНСС-платой U-blox f9p (табл. 2). Общий вид системы «Геоскан 401 Лидар» представлен на рис. 1.

Принцип аэросъемочных работ с применением воздушного лазерного сканера в комплексе с цифровой камерой следующий. Во время полета воздушного судна приемник ГНСС сканера определяет координаты центров фотографирования снимков, инерциальная навигационная система измеряет углы наклона аппаратуры, а лидар выступает в роли дальномера, фиксируя угол и расстояние до измеряемого объекта. Пространственные координаты определяются приемником ГНСС системы сканирования, на который передаются дифференциальные поправки от сети наземных базовых станций ГНСС, создаваемой в районе аэросъемочных работ.

В результате АФС и ВЛС получают аэрофотоснимки с точными центрами фотографирования и параметрами их внешнего ориентирования (крен, тангаж и курс) и точки лазерного отражения (ТЛО) с пространственными координатами (X, Y, Z) в геодезической системе координат. Совокупность этих данных позволяет в короткие сроки создавать цифровые модели рельефа (ЦМР) в виде матрицы высот и горизонталей, ортофотопланы высокого разрешения, цифровые модели местности (ЦММ) в виде топографических и кадастровых планов и трехмерные текстурированные модели местности и объектов.



Рис. 1
Общий вид системы «Геоскан 401 Лидар»

Основные характеристики квадрокоптера «Геоскан 401» Таблица 1

Параметр	Значение
Продолжительность полета, мин	До 40
Площадь съемки, км ²	0,74–1,7
Максимальная допустимая скорость ветра, м/с	12
Скорость полета, км/час	0–50
Габариты:	
— в сложенном положении, см	71x20x19
— в полетном положении, см	150x150x56
Минимальная безопасная высота полета, м	От 25
Эффективная высота полета, м	До 160
Температура эксплуатации, °С	От –20 до +40 (опционально возможно расширение до –40)
Электрический двигатель, шт.	4
Взлет / посадка	Вертикально в автоматическом режиме на площадке с радиусом 5 м

Основные характеристики воздушного лазерного сканера АГМ-МС1 Таблица 2

Параметр	Значение
Частота сканирования, кГц	До 600
Максимальная дальность, м	До 200
Рабочая дальность, м	До 160
Угол поля зрения, °	До 360
Скорость вращения сканирующего зеркала, оборотов/с	До 20
Точность определения дальности, см	3
Точность определения координат, см	3–5
Размер сенсорного блока, мм	От 120x116x112
Вес сенсорного блока, кг	1,1
Температура использования, °С	От –20 до +50
Дискретность ГНСС-измерений, Гц	20
Сертификат средства измерения	Нет (в работе)

Программная часть комплекса состоит из следующих программ.

Geoscan Planner. Программа предназначена для проектирования и выполнение АФС и ВЛС, а также для проверки проведенных полетов. Предоставляет возможности работы с площадными и протяженными (линейными) объектами. Имеет несколько режимов работы: простой режим, режим эксперта и плеер. Функции простого и экспертного режимов идентичны, но в экспертном режиме на экране отображается окно со свойствами проекта, которые пользователь может отредактировать. Переключение между режимами не изменяет глобальных свойств проекта. Например, можно начать составление проекта в простом режиме, при необходимости переключиться в режим эксперта для изменения каких-либо параметров, а затем вернуться в простой режим (чтобы окно параметров не занимало рабочую область экрана). Режим плеера позволяет реконструировать полет по автоматически регистрируемому данным. Основное назначение этого режима — восстановление координат центров фотографирования в случае, когда в ходе полета был нарушен штатный режим работы [3].

AGM PosWorks Web. Программа предназначена для расчета траекторий движения систем мобильного и воздушного лазерного сканирования. Поддерживает различные ГНСС, системы инерциальной навигации АГМ-ПС производства компании «АГМ СИСТЕМЫ», полностью интегрировано с лазерными сканерами серии АГМ-МС [2].

AGM ScanWorks Base. Веб-сервис предназначен для обработки данных систем наземного и воздушного лазерного сканирования производства компании «АГМ СИСТЕМЫ». Функционал программного обеспечения позволяет рассчитать траек-

торию движения транспортного средства, выполнить обработку точек лазерных отражений, осуществить их колоризацию, а также геопривязку аэрофотоснимков и сферических панорам. Алгоритмы постобработки позволяют существенно повысить точность получаемых данных и свести к минимуму влияние шумов, неизбежно возникающих при любых, в том числе высокоточных геодезических измерениях [2].

Terrasolid. Программа предназначена для визуализации и обработки точек лазерных отражений как в автоматическом, так и в ручном режиме. Обеспечивает возможность организации массивов данных в проекты, трансформации, конвертации, классификации ТЛО. Предоставляет обширный инструментарий автоматического и полуавтоматического векторного моделирования различных объектов съемки (например, зданий, элементов воздушных линий электропередачи и пр.) на основе классифицированных и неклассифицированных данных лазерного сканирования. Поддерживает большое количество систем координат, форматов данных, включая форматы всех современных воздушных и мобильных лазерных сканеров. Внутренний бинарный формат хранения данных лазерного сканирования, разработанный компанией Terrasolid, в настоящее время является одним из мировых стандартов.

Lidar360. Программа для обработки облаков точек. Включает различные наборы инструментов для визуализации, управления, анализа и экспорта геопространственных данных для прикладных задач, используя специализированные модули Terrain, Forestry и LiPowerline. Реализована в виде четырех программных пакетов в порядке возрастания функциональных возможностей: исследование лесных ресурсов, топографическая

съемка, оценка стихийных бедствий, измерение объема грунта, проведение инженерных изысканий линейных объектов [4].

Agisoft Metashape Professional. Программное обеспечение для фотограмметрической обработки с высоким уровнем автоматизации. Позволяет обрабатывать изображения, получаемые с помощью RGB или мультиспектральных камер, включая мультикамерные системы, получать по перекрывающимся снимкам плотные облака точек, текстурированные полигональные модели, ортофотопланы, цифровые модели рельефа и цифровые модели местности. При дальнейшей обработке можно удалять тени и искажения текстур с поверхности моделей, рассчитывать вегетационные индексы и составлять файлы предписаний для агротехнических мероприятий, автоматически классифицировать плотные облака точек и т. д. Программа позволяет экспортировать данные фотограмметрической обработки в различные форматы ГИС [5].

▼ Испытания технологии применения ВЛС совместно с АФС

В данном разделе представлены материалы исследования комплексной технологии применения ВЛС совместно с АФС для создания различных топографических материалов о местности на район Заокского геополигона МИИГАиК. Также была проведена оценка качества в сравнении с классическими наземными геодезическими измерениями, выполняемыми методами тахеометрической съемки и приемниками ГНСС в режиме реального времени.

В качестве испытательного комплекса использовалась система «Геоскан 401 Лидар», представленная выше.

Исследования проводились в осенний период в 2021 г. Для оценки качества картографической продукции на полигоне

существует плотная сеть маркированных опознаков (порядка 50 на 1 км²) с точностью пространственных координат 2–3 см (рис. 2). Кроме того, имеются высотные пикеты, полученные в результате тахеометрической съемки на различных участках местности, а именно: 80 — в поселке Маяк на открытых участках, 650 — на склоне с перепадом высот 80 м, покрытом травяной растительностью, 350 — в покрытой деревьями и густой растительностью части полигона (рис. 3). Такой набор контрольных данных, измеренных инструментально, позволяет получить взвешенную оценку качества картографической продукции, созданной по данным ВЛС и АФС, как по точности, так и по эффективности.

Аэрофотосъемка и лазерное сканирование контрольных участков выполнялось дважды: в сентябре в ясную погоду и в ноябре со сплошной облачностью. Если в первом случае освещенность была благоприятная для АФС, то во втором — критичная для получения качественных аэрофотоснимков. С другой стороны, полеты в ноябре были более благоприятны для лазерного сканирования, поскольку травяной покров уже угнетен и листва на деревьях опала.

Комплекс «Геоскан 401 Лидар» обеспечивает одновременное выполнение аэрофотосъемки и воздушного лазерного сканирования. Аэросъемка выполнялась на высоте 140 м с продольным перекрытием 80% и поперечным — 40%, ширина кадра составила 168 м, а ширина коридора сканирования при этом — 300 м [3, 6]. Данные параметры полета обеспечивают получение аэрофотоснимков с разрешением на местности 3 см и определение расстояний лазерным дальномером с точностью 2–3 см. Они определяют, в первую очередь, потенциальные метрологические характе-

ристики топографических материалов о местности по данным АФС и ВЛС. Таким образом, точность измерения объектов местности и по снимкам, и по точкам отражения соизмерима.

Постобработка данных ВЛС и АФС заключается, прежде всего, в определении точных координат центров фотографирования для аэрофотоснимков по результатам обработки измерений, выполненных приемником ГНСС, установленным на лидаре, в дифференциальном режиме. Координаты центров фотографирования снимков были

получены в результате обработки в специализированном ПО MAGNET Tools компании TOPCON. Обработка траекторий для воздушного сканирования выполнялась в ПО AGM PosworksWeb. Точность уравнивания центров проекции составила 2–3 см. Траектории ВЛС были получены с точностью 2 см.

В ПО AGM ScanWorks Base осуществлялась обработка точек лазерных отражений. На рис. 4 и рис. 5 показан вид сверху и в сечении облака точек после исключения избыточных отражений.

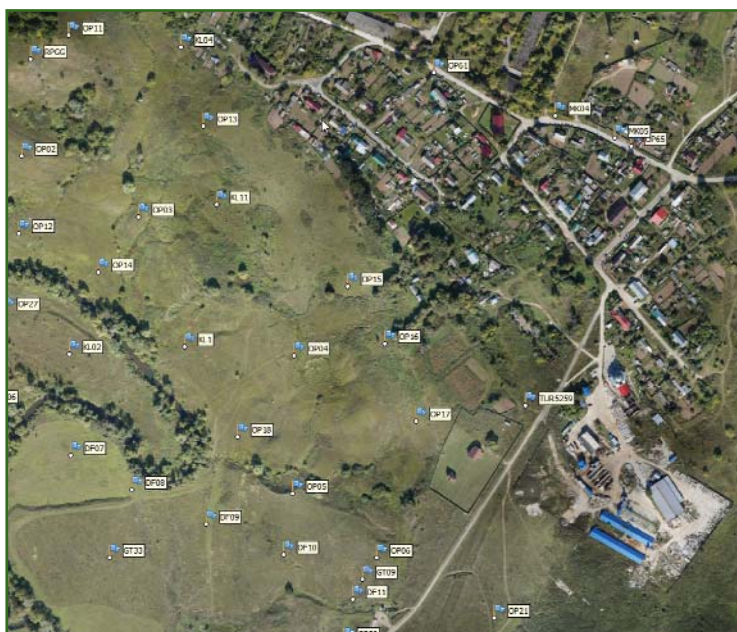


Рис. 2

Схема расположения маркированных опознаков



Рис. 3

Схема расположения высотных пикетов

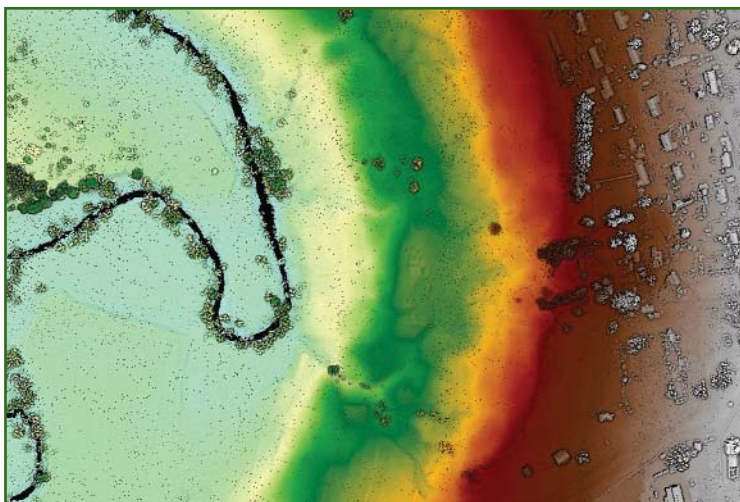


Рис. 4
Окрашенные ТЛО (вид сверху)



Рис. 5
Вид ТЛО в поперечном сечении

Следующим шагом технологической цепочки является обработка точек лазерных отражений, которая заключается в обрезке точек в перекрывающихся сканах маршрутов, исключении лишних точек на поворотах БВС, избыточных точек в перекрытии, устранении шумов и классификации точек относительно объектов отражения. Этот этап может быть выполнен в ПО Terrasolid и

Lidar360 [4] или в иных программах, предназначенных для работы с облаками точек. В нашем случае была поставлена задача выделения точек лазерных отражений от земной поверхности и построения ЦМР для ортофототрансформирования и создания горизонталей на топографическом плане.

Методика классификации ТЛО в различных программах примерно одинакова:

- в автоматическом режиме устраняются шумы и переводятся в отдельный слой;

- на сравнительно небольших характерных участках блока ТЛО подбираются параметры классификации в зависимости от характера местности;

- выполняется автоматическая классификация всего массива ТЛО;

- оператор в интерактивном режиме выполняет завершающую фазу классификации, используя при этом различные способы отображения, поперечные профили и другие инструменты, предлагаемые программой обработки.

В данном случае решалась задача построения ЦМР на различных по типу участках местности с оценкой точности по наземным измерениям, выполненным методом тахеометрической съемки.

Условно район полигона был разделен на три участка:

- населенный пункт, где определены 80 высотных пикетов на открытых участках земной поверхности;

- склон, где измерено 650 пикетов;

- лесной массив, где измерено 350 точек.

Результаты проведенных исследований показаны в табл. 3 и на рис. 6–8.

Полученные значения статистически достоверны и подтверждают ожидаемые оценки точности аппроксимации рельефа, построенного по результатам лазерного сканирования.

Наряду с обработкой ТЛО параллельно выполнялась фотограмметрическая обработка АФС в ЦФС «Agisoft Metashape Professional» [5, 7] с точной привязкой координат центров фотографирования. В качестве контрольных точек использовались 48 маркированных опознаков. Полученные средние погрешности составили в плане 3–4 см, а по высоте — 4–6 см, что также соответствует ожида-

Оценка точности ЦМР по контрольным пикетам

Таблица 3

Название	Плотность ТЛО на 1 м ²	Число контрольных пикетов	Средняя погрешность по высоте, м
Поселок	168	80	0,094
Склон	155	650	0,123
Лес	143	350	0,099

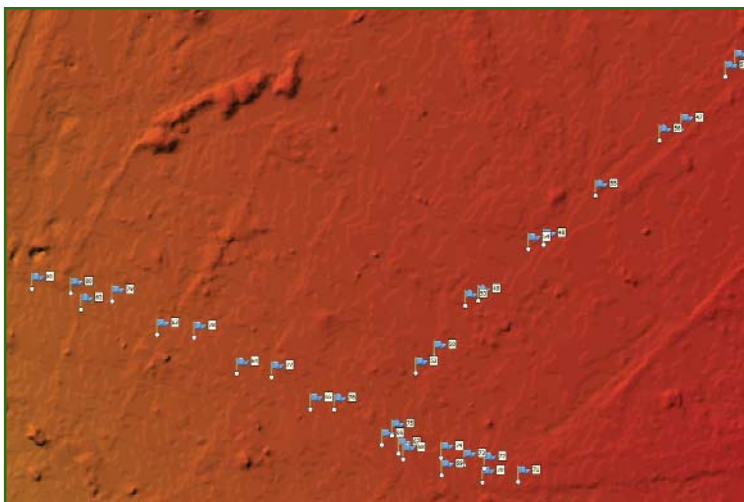


Рис. 6
ЦМР поселка с контрольными пикетами

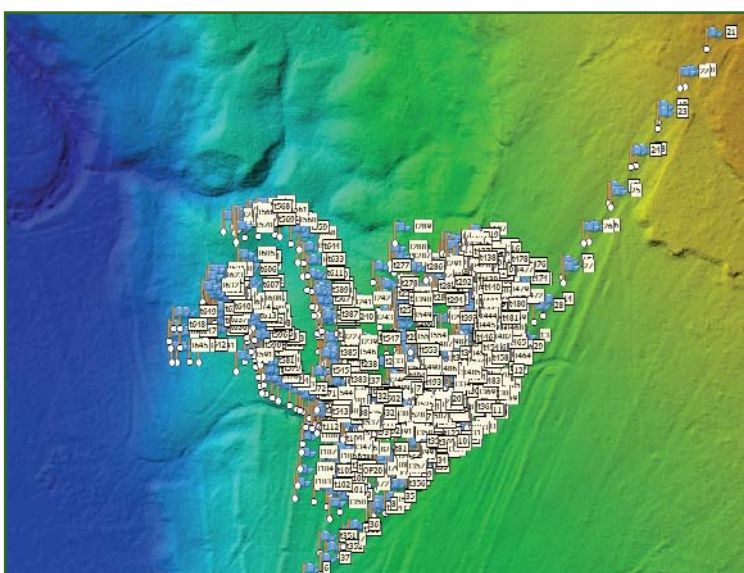


Рис. 7
ЦМР склона с контрольными пикетами

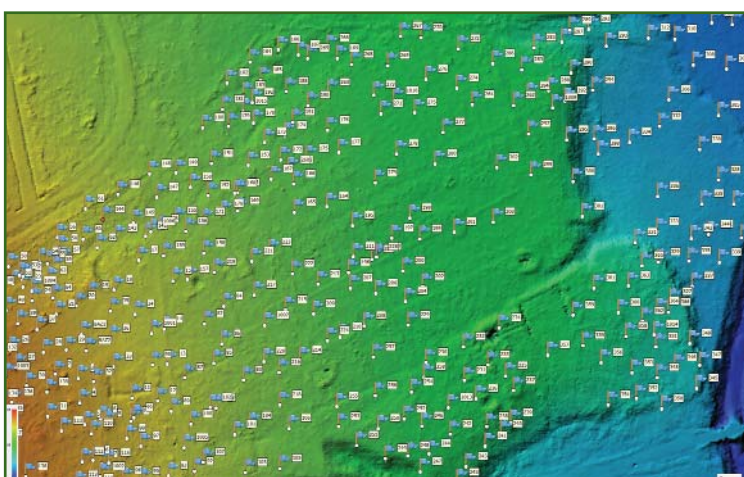


Рис. 8
ЦМР участка с лесным массивом с контрольными пикетами

ниям по метрологическим характеристикам данного материала.

Поскольку метрологические оценки материалов АФС и ВЛС сопоставимы по точности и существует возможность импортировать данные сканирования в фотограмметрическую модель ЦФС Agisoft Metashape Professional, то появляется возможность совместного использования полученных данных для создания топографических материалов при картографировании, кадастровых работах, инженерно-геодезических изысканиях, маркшейдерских работах и др.

▼ Опыт применения

Накопленный опыт применения комплекса «Геоскан 401 Лидар» в качестве беспилотной топографической системы воздушного лазерного сканирования и аэрофотосъемки на протяжении последних 2–3 лет показал, что использование комбинированной технологии предоставляет следующие преимущества по сравнению с классическими наземными методами, такими как электронная тахеометрическая съемка и съемка приемниками ГНСС в режиме реального времени.

Скорость. Полевые и камеральные работы можно выполнить значительно быстрее.

Точность. Воздушное лазерное сканирование позволяет получать цифровую модель рельефа с погрешностью 5–10 см в плане и по высоте.

Детальность. Данные, полученные посредством ВЛС, позволяют полностью отобразить геометрические параметры объекта и подробно описать не только форму, но и характер обследуемой поверхности.

Информативность. ВЛС позволяет получать точные координаты проводов и мелких подвесных конструкций (изоляторов, ферм).

Безопасность. Отсутствие необходимости присутствия че-

ловека непосредственно в опасных и труднодоступных районах съемки значительно снижает риски получения производственных травм.

Стоимость работ значительно снижается.

Проведенные испытания подтвердили накопленный опыт использования данной комбинированной технологии компанией «АГМ СИСТЕМЫ» и ГК «Геоскан». На рис. 9, 10 представлены некоторые примеры из выполненных производственных проектов.

Кроме приведенных выше примеров, данная технология

используется при мониторинге железнодорожных путей сообщения, газопроводов, ЛЭП, инфраструктуры населенных пунктов, строительных площадок и т. д.

Она может найти применение при инженерно-геодезических изысканиях, например при проектировании автомобильных и железных дорог в залесенной местности, где только по данным АФС сложно построить рельеф; в лесном хозяйстве при мониторинге и таксации леса; в горнодобывающей промышленности при проведении маркшейдерских работ; в нефтегазовой про-

мышленности при проектировании трубопроводов и объектов инфраструктуры; при реставрационных работах памятников исторического и культурного наследия, где необходимо детальное трехмерное моделирование и т. д.

Важным фактором внедрения новой технологии, основанной на использовании беспилотной АФС и ВЛС, является подготовка и переподготовка кадров по данному направлению [8]. С 2011 г. МИИГАиК ведет подготовку студентов по специальной программе «Беспилотная АФС и фотограмметрия», а с 2020 г. по данному направлению проводится переподготовка кадров производственных организаций. На повестке дня включение в программу повышения квалификации раздела воздушного лазерного сканирования. Совершенно очевидно, что организация и проведение таких технически сложных курсов невозможно без поддержки компании «АГМ СИСТЕМЫ» и ГК «Геоскан».

▼ Список литературы

1. Беспилотное воздушное судно мультикоптерного типа «Геоскан 401». Руководство по эксплуатации. — www.geoscan.aero.
2. Система лазерного сканирования АГМ-МС1. Руководство по эксплуатации. — www.agmsys.ru.
3. Инструкция по выполнению полетов БВС Геоскан. — www.geoscan.aero.
4. Руководство пользователя Lidar360. — www.lidar360.com.
5. Руководство пользователя Agisoft Metashape Professional. — www.agisoft.com.
6. ГОСТ Р 5956-2021 Съёмка аэрофототопографическая. Технические требования.
7. ГКИНП (ГНТА)-02-036-02 Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов.
8. Киселева А.С., Курков В.М. Подготовка и переподготовка кадров по направлению «Беспилотная аэрофотосъемка и фотограмметрия» в МИИГАиК // Геопрофи. — 2021. — № 4. — С. 37–41.



Рис. 9
Фрагмент топографического плана в масштабе 1:500
(Сочи, 2020 г.)

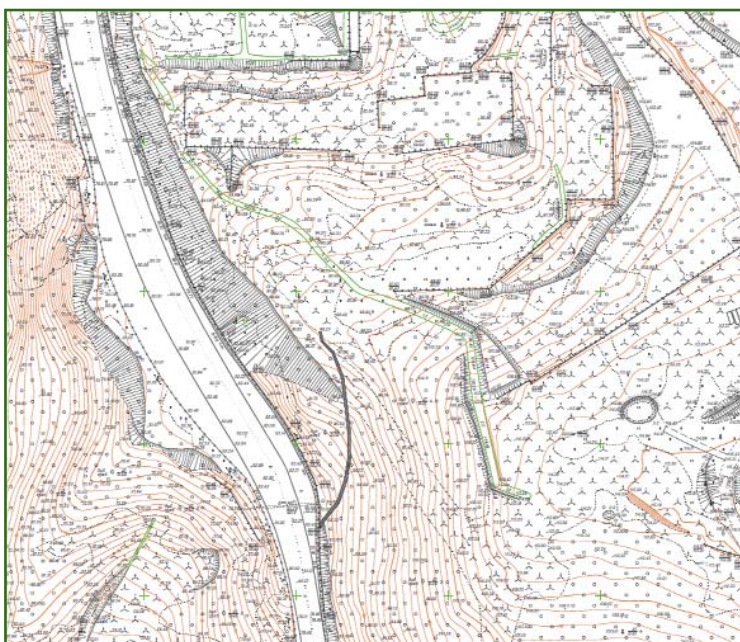


Рис. 10
Фрагмент топографического плана в масштабе 1:5000
(Северо-Кожвинское месторождение, 2021 г.)